

# **THIS PAGE IS INSERTED BY OIPE SCANNING**

**IMAGES WITHIN THIS DOCUMENT ARE BEST AVAILABLE COPY AND CONTAIN DEFECTIVE IMAGES SCANNED FROM ORIGINALS SUBMITTED BY THE APPLICANT.**

**DEFECTIVE IMAGES COULD INCLUDE BUT ARE NOT LIMITED TO:**

**BLACK BORDERS** ✕

**TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

**FADED TEXT**

**ILLEGIBLE TEXT**

**SKEWED/SLANTED IMAGES**

**COLORED PHOTOS**

**BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS**

**GRAY SCALE DOCUMENTS**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.  
RESCANNING DOCUMENTS *WILL NOT*  
CORRECT IMAGES.**

### СОДЕРЖАНИЕ

#### Общее собрание Академии наук СССР

- 3 Секции химико-технологических и биологических наук  
6 Ускорение научно-технического прогресса в химической промышленности на современном этапе. Доклад В. В. ЛИСТОВА  
11 Решения июньского (1983 г.) Пленума ЦК КПСС и сельскохозяйственная наука. Доклад А. А. НИКОНОВА  
17 Значение июньского (1983 г.) Пленума ЦК КПСС для развития медицинских исследований. Доклад академика Н. Н. БЛОХИНА  
20 Выступления участников собрания

#### В Президиуме Академии наук СССР

- 35 Синтез сверхтяжелых элементов и применение методов ядерной физики в смежных областях. Научное сообщение Г. Н. ФЛЕРОВА  
49 Селективная спектроскопия сложных молекул и ее применение. Научное сообщение Р. И. ПЕРСОНОВА  
Организация и эффективность научных исследований  
57 Я. М. КОЛЮТЫГИН. Пути повышения отдачи научного потенциала  
67 В. Б. БЕЛЯНИН, В. Т. МИХКЕЛЬСОН, П. М. СААРИ. Опыт разработки лазерного комплекса-спектрометра в АН ЭССР  
73 Б. М. КАДЕНАЦИ, О. В. КРЫЛОВ. Катализаторы глубокого окисления углеводородов и беспламенные каталитические источники тепла

#### На основных направлениях науки

- 79 С. С. КУТАТЕЛАДЗЕ, В. Н. ЯРЫГИН, А. К. РЕБРОВ. Некоторые проблемы молекулярной газодинамики. Из опыта работы Института теплофизики СО АН СССР  
86 М. А. ПОРАЙ-КОШИЦ. Современная кристаллохимия: новые аспекты и направления исследований  
98 Ю. А. ПОЛЯКОВ, И. П. КИСЕЛЕВ. Новое в исторической демографии

#### Беседы и интервью

- 110 «Изучать реальные механизмы в их реальном действии...»  
Интервью с Н. Н. МОИСЕЕВЫМ

#### Памяти ученых

- 120 Николай Николаевич Яценко

#### Из истории отечественной науки

- 122 О. И. СУМБАЕВ. Воспоминания об учителе

(См. на обороте)

## CONTENTS

- General Meeting of the USSR Academy of Sciences**
- 3 Section of the Chemical-Technological and Biological Sciences
- 6 Acceleration of scientific and technological progress in chemical industry at modern stage. Report by V. V. LISTOV
- 11 Decisions of the June (1983) Plenary Meeting of the Central Committee of the CPSU and agricultural science. Report by A. A. NIKONOV
- 17 Role of the June (1983) Plenary Meeting of the Central Committee of the CPSU in medical studies. Report by N. N. BLOKHIN
- 20 Speeches by participants of the meeting
- Reports of the Presidium of the USSR Academy of Sciences**
- 35 Synthesis of superheavy elements and use of nuclear physics methods in adjacent fields. Scientific communication by G. N. FLEROV
- 49 Selective spectroscopy of complex molecules and its application. Scientific communication by R. I. PERSONOV
- Organization and effectiveness of scientific research**
- 57 Ya. M. KOLOTYRKIN. Ways of raising the efficiency in scientific potential
- 67 V. B. BELYANIN, V. T. MIKHKELSOO, P. M. SAARI. Methods of development of laser complex — spectrometer at the Academy of Sciences of the Estonian SSR
- 73 B. M. KADENATSI, O. V. KRYLOV. Catalysts of deep oxidation of hydrocarbons and flameless catalytic heat sources
- Main directions of science**
- 79 S. S. KUTATELADZE, V. N. YARYGIN, A. K. REBROV. Some problems of molecular gas dynamics
- 86 M. A. PORAI-KOSHITS. Modern crystallochemistry: new aspects and directions of research
- 98 Yu. A. POLYAKOV, I. N. KISELEV. News in historical demography
- Talks and interviews**
- 110 To study real mechanisms in their real action... Interview of N. N. MOISEYEV
- In memory of scientists**
- 120 Nikolai Nikolayevich Yanenko
- From history of home science**
- 122 O. I. SUMBAYEV. Memories of teacher
- Expeditions**
- 127 Yu. A. BOGDANOV, A. M. SAGALEVICH. New data of structure of the Reykjanes range
- Survey of books and journals**
- 132 E. P. VELIKHOV. Towards the conclusion of the Lomonosov Complete Works
- 134 V. P. ALEXEYEV. Theoretical biology: possibilities and hopes
- Chronicle notes**
- 138 Jubilee of A. A. Bayev
- 139 Award of the Sukachev gold medal to Yu. A. Israel
- 139 Award of the Sechenov prize to A. I. Shapovalov
- 140 Award of the Dokuchayev prize to N. A. Nogina
- 141 Gold medals and prizes of the USSR Academy of Sciences in 1985

Художественный и технический редактор Э. А. Дрейер

Сдано в набор 17.02.84 Подписано к печати 30.03.84 Т-05635 Формат бумаги 70×108<sup>1/8</sup>  
 Высокая печать Усл. печ. л. 12,6 + 1 вкл. Усл. кр.-отт. 55,1 тыс. Уч.-изд. л. 12,8 Бум. л. 4,5  
 Тираж 4256 экз. Зак. 3688

Издательство «Наука», 103717, ГСП, Москва, Н-62, Подсосенский пер., 21  
 2-я типография издательства «Наука», 121099, Москва, Шубинский пер., 10



Академик  
Г. Н. ФЛЕРОВ

# СИНТЕЗ СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ В СМЕЖНЫХ ОБЛАСТЯХ

Научное сообщение

История вопроса о практическом применении пучков многозарядных ионов тесно связана с развитием физики тяжелых ионов и ускорительной техники. В 1960 г. в Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований был введен в действие трехметровый циклотрон У-300, который по своим параметрам не уступал лучшим в мире ускорителям тяжелых ионов. В результате 20-летней эксплуатации циклотрона были получены изотопы новых химических элементов с атомными номерами от 102 до 107, исследованы их свойства, открыты новые виды радиоактивного распада: спонтанно делящиеся изомеры, запаздывающее деление, протонная радиоактивность, существенно расширившие современные представления о строении атомного ядра и нуклеосинтеза элементов Вселенной.

В реакциях с помощью тяжелых ионов удалось получить ядерную материю в экстремальных состояниях — синтезировать ядра со значительным «недостатком» и «избытком» нейтронов, с большой энергией возбуждения ( $\sim 100$  МэВ) и угловыми моментами, достигающими сотен единиц. Сейчас встал вопрос о синтезе 110-го и 111-го элементов, сечение образования которых оценивается величиной  $10^{-36}$  см<sup>2</sup>. При столь малом сечении реакции и массе мишени около 1 мг для синтеза одного атома нового элемента в час потребуются пучок бомбардирующих ионов с интенсивностью  $10^{14}$  част./с. Получение столь мощных пучков тяжелых ионов стало доступным с вводом в строй нового ускорителя лаборатории ядерных реакций — изохронного циклотрона У-400; по интенсивности пучков он превосходит все существующие ускорители тяжелых ионов, вместе взятые (рис. 1). С экспериментами на У-400 мы связываем новые перспективы синтеза сверхтяжелых элементов и физики тяжелых ионов. Следует отметить, однако, что продвижение в область тяжелых ядер снижает к.п.д. пучка циклотрона. Действительно, для получения, например, одного атома 107-го элемента требуется  $\sim 10^{16}$  ядер-снарядов, и, таким образом, собственно в синтезе участвует лишь  $10^{-16}$  часть ионного пучка. Трудно представить себе технологический процесс со столь низким к.п.д.! Однако существует другой, связанный с применением ионных пучков процесс, в котором используется буквально каждый ускоренный ион, условно можно сказать, что его к.п.д. равен 100%. Речь

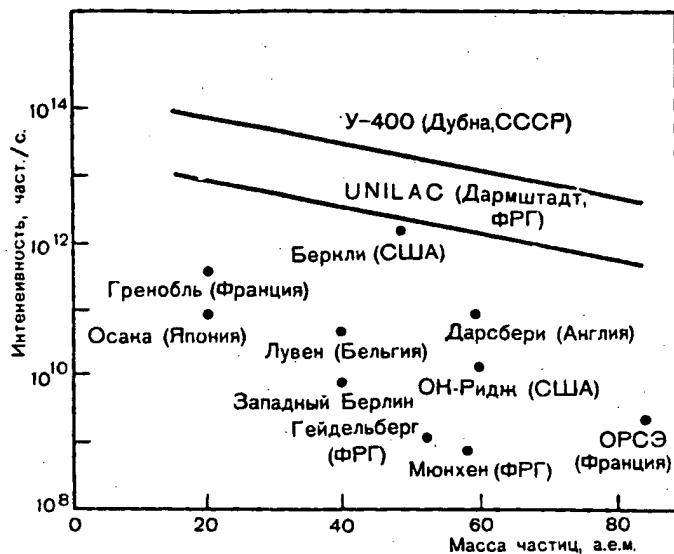


Рис. 1. Интенсивность пучков тяжелых ионов циклотрона У-400 в сравнении с параметрами ускорителей западных научных центров

идет о ядерных фильтрах. Несмотря на то, что научные аспекты методов получения ядерных фильтров связаны скорее с радиационной физикой и химией, чем с физикой ядра, прослеживается «генетическая» связь между работами по синтезу новых элементов и развитием технологии ядерных фильтров.

Для регистрации атомов новых элементов, образующихся в ядерных реакциях, использовались диэлектрические детекторы ядерных частиц. Начало их применению положили работы конца 50-х — начала 60-х годов, которые показали, что тяжелые заряженные частицы оставляют в неорганических кристаллах протяженные дефекты, выявляемые при химическом травлении. В 1963 г. сотрудники лаборатории ядерных реакций обнаружили в стекле эффект травления треков осколков деления. Стекланные детекторы сразу нашли применение в экспериментах по идентификации атомного номера и массового числа спонтанно делящегося изомера ядра  $^{242}\text{Am}$ . К тому же времени относится открытие американскими исследователями эффекта травления треков в полимерах. Все три вида диэлектрических детекторов: неорганические кристаллы, стекла и полимеры — впоследствии были широко использованы в работах по синтезу и исследованию свойств трансформированных элементов, изучению барьеров деления ядер, определению сечения деления и углового распределения осколков деления, исследованию запаздывающего деления, определению времени жизни составных ядер с помощью метода теней и т. д.

Отличительная особенность диэлектрических детекторов — высокий порог регистрации. Многие минералы и стекла не чувствительны к воздействию частиц с зарядом ядра  $Z < 10-15$ , а некоторые из них регистрируют лишь частицы с  $Z \geq 20$ . Это свойство оказалось весьма ценным при использовании диэлектрических трековых детекторов в ядерно-физических экспериментах, где нужно было выделить редкие события при высоком уровне фона. Полимерные материалы, напротив, обычно обладают сравнительно низким порогом регистрации тяжелых заряженных частиц и вследствие этого высокой эффективностью регистрации осколков деления, что позволило разработать оригинальную технологию получения пористых мембран. Если тонкую полимерную пленку, облученную осколками деления, подвергнуть соответствующей химической обработке (например, травлению в растворе щелочи), то она превращается в высококачественный фильтровальный материал — ядерный фильтр. На этом принципе основано производство американской фирмой «Nuclear Corporation» поликарбонатных и полиэфирных микрофильтров.

Следует, одна приводит к определению при самых малых мерах ограничивающих факторов. Существенно с увеличением площади в мире поликарбоната  $6 \cdot 10^8 \text{ см}^2$ .

В 1974 г. в... зовать для из... шень, а ускор... витии метода. одинаковую с... радиационного... дующее хими... отверстия оди...

В отличие... дает возможн... щих частиц, у... ходимую стру... тенсивности п... несколько по... тода. Наприм...  $500-1000 \text{ м}^2$ ... задач, где тр... лучены филь... тиметре площ...

Еще одно... ускоряемых и... в ядерные ре... сущствует акт... Схема обл... щей физико-х...

Для равном... ным электрич... зонгальной пло... от 0,1 до 2 м/с... облучения. На... ги, и в резуль... материале буд... физико-химиче... При этом усил... треки травятс... мых отверстий.

Химическо... полиэтилентер... рость процесса... дования пока... травления дес... характер, чем... чительно изме... нологические... температурног... растворах ще...

Следует, однако, заметить, что дисперсия осколков по заряду, массе и энергии приводит к определенному разбросу диаметров отверстий, который особенно заметен при самых малых размерах пор. Кроме того, малый пробег осколков деления в полимерах ограничивает толщину фильтрующего материала: она не может превышать 10 мкм. Существует и ограничение числа отверстий на единицу площади фильтра: с увеличением плотности пор растет стоимость фильтров, поэтому выпускаемые сейчас в мире поликарбонатные «ядерные» мембраны имеют плотность пор не выше  $6 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2}$ .

В 1974 г. в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ было решено использовать для изготовления ядерных фильтров не реактор и урановую мишень, а ускорители тяжелых ионов. Это был качественный скачок в развитии метода. Тяжелые ионы, несущие одинаковый заряд и имеющие одинаковую скорость, при прохождении через полимер образуют каналы радиационного повреждения с одинаковой плотностью дефектов. Последующее химическое травление превращает эти каналы в цилиндрические отверстия одинакового диаметра.

В отличие от «осколочного» метода облучение пленки на циклотроне дает возможность произвольно изменять энергию и массу бомбардирующих частиц, угол их входа в полимер, что позволяет формировать необходимую структуру микрофильтра. Благодаря относительно высокой интенсивности пучков на ускорителях многозарядных ионов наш метод на несколько порядков превосходит производительность «осколочного» метода. Например, в течение 1 часа на циклотроне У-300 можно облучить  $500\text{--}1000 \text{ м}^2$  полимерного материала при плотности треков  $10^9 \text{ см}^{-2}$ . Для задач, где требуется еще более высокая плотность пор, могут быть получены фильтры, в которых число отверстий на одном квадратном сантиметре площади достигает  $10^{10}$  и даже более.

Еще одно преимущество ядерных фильтров состоит в том, что ядра ускоряемых ионов стабильны, а энергия их недостаточна для вступления в ядерные реакции с ядрами элементов мишени. Поэтому полностью отсутствует активация полимерного материала в процессе облучения.

Схема облучения полимерной пленки тяжелыми ионами и последующей физико-химической обработки представлена на рис. 2.

Для равномерного облучения всех участков пленки тяжелыми ионами переменным электрическим полем с частотой 2000 Гц производится развертка пучка в горизонтальной плоскости. Скорость движения пленки в процессе облучения составляет от 0,1 до 2 м/с в зависимости от интенсивности ионного пучка и требуемой плотности облучения. На пути пучка можно поставить различные маски и поглощающие фольги, и в результате пространственное и угловое распределение треков в полимерном материале будет изменено заданным образом. Затем полимерную пленку подвергают физико-химической обработке, предварительно облучив ее ультрафиолетовым светом. При этом усиливается деструкция поврежденных ионами молекул полимера, ядерные треки травятся значительно быстрее, и улучшаются форма и однородность получаемых отверстий.

Химическое травление облученных ионами полиэфирных пластиков (например, полиэтилентерефталата или поликарбоната) производят в растворах щелочей. Скорость процесса регулируют изменением температуры и концентрации щелочи. Исследования показали, что концентрационная и температурная зависимости скорости травления деструктурированных молекул, заполняющих объем трека, носят иной характер, чем для полимеров в исходном состоянии. Появляется возможность значительно изменять форму пор ядерных фильтров, варьируя в широких пределах технологические параметры процесса химической обработки. Так, с помощью высокотемпературного травления облученного тяжелыми ионами лавсана в разбавленных растворах щелочи создаются узкие каналы и в пленке толщиной 10 мкм можно

Интенсивность пучков тяжелых ионов циклотрона У-400 в сравнении с трамми ускорителей их научных центров

аспекты методов ионной физикой «метическая» связь нтием технологии

щихся в ядерных ядерных частиц. начала 60-х годов, оставляют в неор-емые при химиче-ядерных реакций деления. Стекло-ментах по иден-анно делящегосякрытие американ-лимерах. Все тристаллы, стекла и в работах по син-ентов, изучениюуглового распре-го деления, опре-года теней и т. д.ысокий порог реги-твию частиц с заря-астицы с  $Z \geq 20$ . Это-рических трековыхло выделить редкие-против, обычно обла-нных частиц и вслед-ения, что позволило-мбран. Если тонкую-ть соответствующей, то она превращает-й фильтр. На этом-с Corporation» поли-

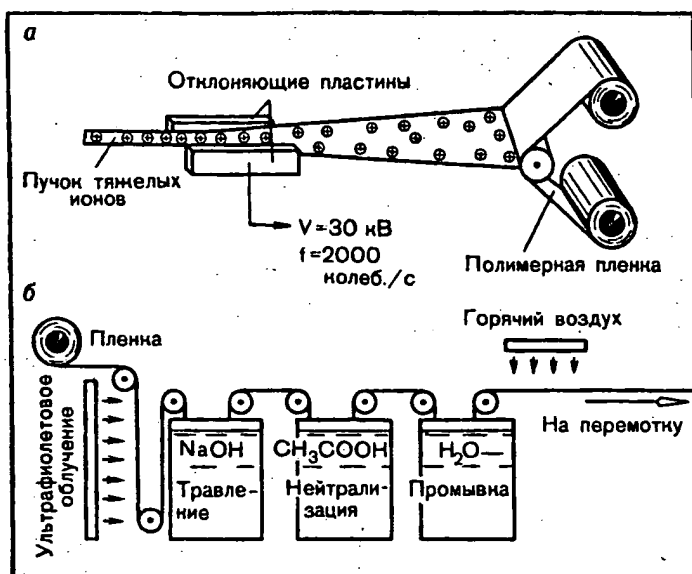


Рис. 2. Схема производства ядерных фильтров с помощью тяжелых ионов

а — облучение полимерных пленок тяжелыми ионами, б — физико-химическая обработка

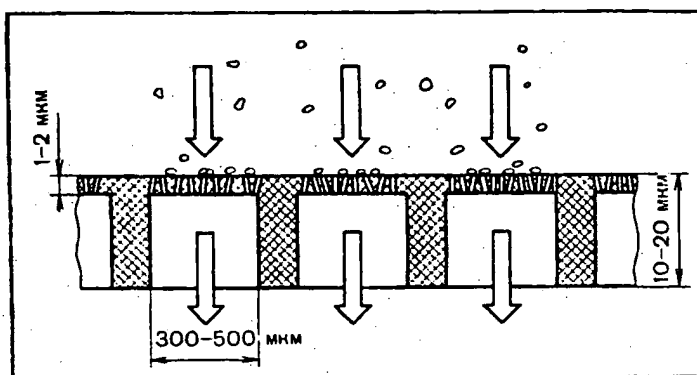


Рис. 3. Разрез асимметричного ядерного фильтра

получить цилиндрические поры диаметром  $\sim 100 \text{ \AA}$ , и, таким образом, отношение длины пор к их диаметру составит  $\sim 10^3$ . Напротив, травление в концентрированном растворе щелочи при низкой температуре образует конусообразные поры. При этом угол при вершине конуса тем больше, чем меньшей ионизирующей способностью обладают бомбардирующие частицы. Если травление проводится с одной стороны пленки, то получается фильтрующий материал, у которого сечения каналов пор равномерно увеличиваются в направлении от одной поверхности к другой. В ряде случаев именно такая геометрия может оказаться полезной. В частности, конусные поры оказывают меньшее сопротивление газу или жидкости по сравнению с эквивалентными по проходному диаметру цилиндрическими порами.

Проблема снижения сопротивления фильтра в принципе имеет и другое решение. Общеизвестен факт, что скорость течения вязкой среды через капилляр обратно пропорциональна его длине. Ядерные фильтры — самые тонкие из всех видов фильтров (толщиной обычно около  $10 \text{ мкм}$ ), и их можно делать еще тоньше. Недавно была разработана методика изготовления «анизотропных» ядерных фильтров с повышенной удельной производительностью (рис. 3). Их получают, облучая полимерную пленку (через специальную сетчатую маску) ускоренными ионами, длина пробега которых несколько меньше толщины пленки; дозу облучения и условия химической обработки подбирают так, чтобы обеспечить полное вытравливание материала до глубины, равной пробегу ионов. После травления в пленке формируется ячеистая структура; толщина дна ячеек определяется разницей между исходной толщиной пленки и длиной пробега ионов и может достигать  $1-2 \text{ мкм}$ . С помощью дополнительных операций

облучения и травления пленки, защиту и обеспечивают. Возможен и другой вариант. В качестве пленки. Она закрепляется на подложку.

К настоящему времени разработаны фильтры с диаметром пор  $\sim 100 \text{ \AA}$ . Столь широкий диапазон параметров. На практике в сравнении с указанными на рис. 2.

Исходным материалом является лавсановая пленка (полиэтилентерефталат). Она устойчива к воздействию радиации. Основными параметрами, которыми обладают лучшими образцами, являются: высокая химическая стойкость, высокая механическая прочность, высокая термическая стабильность.

Тяжелые ионы вызывают образование сферических пор. Исследования, проведенные в институте, показали, что в пластике, подвергнутом облучению, образуется пористая структура, подходящая для использования в качестве фильтра. Производство таких фильтров осуществляется на специальном оборудовании.

Ныне опытно-промышленное производство ядерных фильтров налажено, разрабатываются новые типы фильтров.

Известно, что для работы приборов, работающих в условиях радиации, необходимы материалы, устойчивые к воздействию радиации. В качестве таких материалов используются специальные полимеры, которые обладают высокой радиационной стойкостью. Это позволяет использовать их в качестве фильтров для очистки воды. Это особенно важно для систем водоснабжения в условиях радиации. Это достигается за счет того, что диаметр пор в таких фильтрах может достигать  $100 \text{ \AA}$ , что обеспечивает высокую степень очистки воды.

облучения и травления дно ячеек превращается в тонкий фильтрующий слой. Участки пленки, защищенные маской при первом облучении, образуют армирующую сетку и обеспечивают необходимую механическую прочность фильтра.

Возможен и другой вариант получения ядерных фильтров с высокой проницаемостью. В качестве исходного материала используется весьма тонкая (1–2 мкм) пленка. Она закрепляется на более толстой пленке-носителе, подвергается необходимым операциям облучения и травления, и затем переносится на высокопористую подложку.

К настоящему времени разработана технология изготовления ядерных фильтров с диаметром пор от нескольких десятков ангстрем до десятков микрон. Столь широкий диапазон размеров обеспечивает возможность широкого применения таких фильтров в разнообразных сепарационных процессах. На рис. 4 показан диапазон размеров пор ядерных фильтров в сравнении с характерными размерами частиц некоторых аэрозолей. Указанная на рисунке нижняя граница диапазона пор — 150 Å — весьма условна.

Исходным материалом для производства ядерных фильтров служит лавсановая (полиэтилентерефталатная) пленка, широко используемая в технике. Она отличается высокой механической прочностью, устойчивостью к воздействию многих растворителей и реактивов, большой радиационной стойкостью. Существуют, однако, другие полимеры, по отдельным параметрам превосходящие лавсан. Так, многие виды полиарилатов обладают лучшей, чем лавсан, теплостойкостью. Весьма интересны полиимиды, среди которых есть рекордсмены по радиационной стойкости. Высока химическая стойкость полипропилена. Фторопласты отличаются уникальной устойчивостью к воздействию агрессивных сред.

Тяжелые ионы оказались весьма универсальным инструментом преобразования структуры полимеров, поскольку, как показали проведенные исследования, методом ядерных треков можно получить микропоры в пластиках всех перечисленных видов, необходимо лишь подобрать подходящий режим химической обработки облученного материала. Ионизация, производимая тяжелыми ионами вдоль их траектории в веществе, настолько сильна, что даже в высокотермостойких и радиационностойких полимерах остаются дефекты, выявляемые химической обработкой. К настоящему времени из всего многообразия исследованных полимерных материалов лишь в некоторых не удалось получить протравленные треки. Ныне определен ряд областей наиболее эффективного применения ядерных фильтров. Приведем несколько характерных примеров, не претендуя, разумеется, на полноту освещения вопроса.

Известно, сколь важна в современном производстве *полупроводниковых приборов* чистота технологических сред, в частности воды. Присутствие посторонних веществ и частиц в процессе создания полупроводниковых приборов оказывает существенное влияние на качество и выход продукции. В связи с этим на предприятиях электронной промышленности в качестве промывочной среды используется особо чистая вода с удельным сопротивлением 15–18 МОм/см, содержащая не более 50–150 микрочастиц (размером  $\leq 0,2$  мкм) в миллилитре. Быстрый прогресс в области электроники постоянно ужесточает технические требования к этим качественным показателям. Ядерные фильтры оказались идеальным материалом для конечной очистки от микрочастиц и получения особо чистой воды. Это обусловлено двумя факторами: во-первых, ядерные фильтры с диаметром пор 0,2 мкм задерживают все микрочастицы большего размера, в том числе бактерии, во-вторых, в отличие от большинства других типов фильтрующих материалов они практически не выделяют в фильтрат

Схема производ-  
ных фильтров  
ощью тяжелых

чение полимерных  
тяжелыми ионами.  
ис-химический об-

Разрез асиммет-  
ядерного фильт-

отношение дли-  
рированном рас-  
При этом угол  
остью обладают  
оны пленки, то  
равномерно уве-  
случаев именно  
торы оказывают  
итными по про-

другое решение.  
пр обратнo про-  
видов фильтров  
давно была раз-  
с повышенной  
мерзую пленку  
робега которых  
ской обработки  
о глубины, рав-  
структура; тол-  
енки и длиной  
ных операций



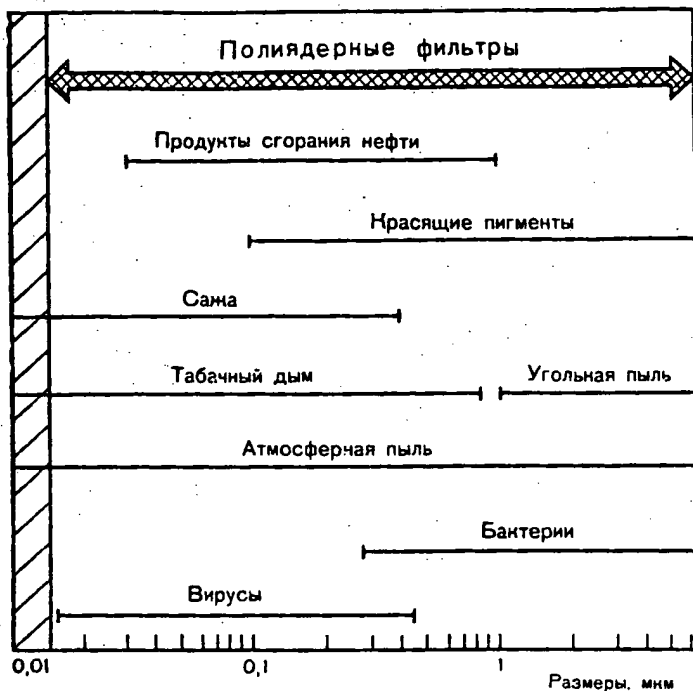


Рис. 4. Диапазон размеров пор ядерных фильтров в сравнении с характерными размерами частиц некоторых аэрозолей

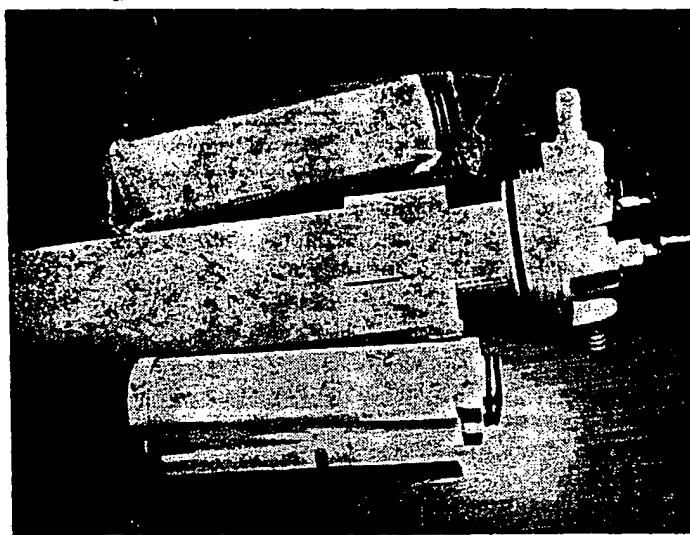


Рис. 5. Фильтр со свечевым патроном для тонкой очистки воды, выполненный на основе «ядерного» фильтровального материала с диаметром пор 0,2 мкм

каких-либо низкомолекулярных примесей. Свечевые патроны из ядерных фильтров (рис. 5) имеют площадь рабочей поверхности около  $0,6 \text{ м}^2$  и производительность более  $0,25 \text{ м}^3$  чистой воды в час. Они компактны, удобны в работе и могут быть использованы не только в микроэлектронике, но и в других областях народного хозяйства. Во многих случаях для очистки газовых сред ядерные фильтры целесообразно использовать в сочетании с лучшими из существующих химических фильтров — фильтрами из «тканей», разработанной академиком И. В. Петряновым-Соколовым.

Развитие криогенной техники и широкое использование криогенных устройств требуют дальнейшего совершенствования теплозащитных ма-

териалов, и в частности улучшение ее снижения теплопроводности. Однако применение керамических радиационно-стойких металлов является металлом нового излучения, практически не способным быть меньше, а толщина экранов из этих металлов для изолотребованиям у 2 мкм.

Сотрудники показали, что имеют эффективную вакуумную изоляцию с коэффициентом теплопроводности значительно меньшим, чем у обычных систем, т.е. в судах для жидких металлов на ответных участках.

Характеристики дисперсии не зависят от частоты использования около 50 ные фильтры и это делает их стерилизующими были нач

Благодаря частицам определенного интервала, которого происхождение меньшего временно пропускать, которая достигла растворителем. ние этих операций вируса бешеного

Для промышленности аппараты-фильтры культуральных средств над мембранами ядерного фильтра и снижение скорости очистки и Вакцины, получались в 10—

4. Диапазон размеров ядерных фильтров сравнении с характерными размерами частиц некоторых аэрозо-

7. Фильтр со свечепатроном для тоночистки воды, выполненный на основе «пеного» фильтровального материала с диаметром пор 0,2 мкм

оны из ядерных  
около 0,6 м<sup>2</sup> и  
Они компактны,  
в микроэлектро-  
многих случаях  
по использовать  
льтров — филь-  
етряновым-Соко-

ние криогенных  
лозащитных ма-

Для промышленных процессов очистки вирусов используются плоскокамерные аппараты-фильтродержатели. Такой аппарат обеспечивает концентрирование 5—20 л культуральных вирусных суспензий за время 0,5—2 ч при скоростях потока жидкости над мембраной 0,1—0,5 м/с. Создание тангенциального потока у поверхности ядерного фильтра обусловлено необходимостью предотвратить быстрое забивание пор и снижение скорости фильтрации (рис. 7). Сейчас отработаны технологические режимы очистки и концентрирования вирусов гриппа, бешенства, клещевого энцефалита. Вакцины, полученные с помощью технологии, основанной на ядерных фильтрах, оказались в 10—20 раз более эффективными, чем очищенные другими методами.

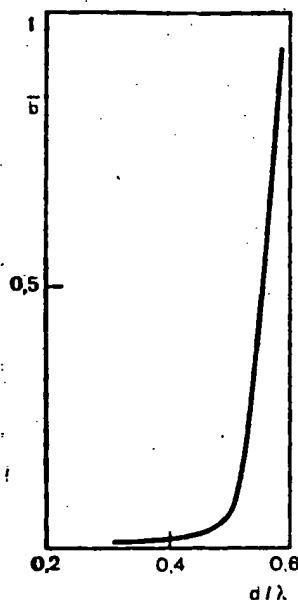


Рис. 6. Пропускание электромагнитного излучения перфорированным экраном в зависимости от отношения диаметра отверстия к длине волны

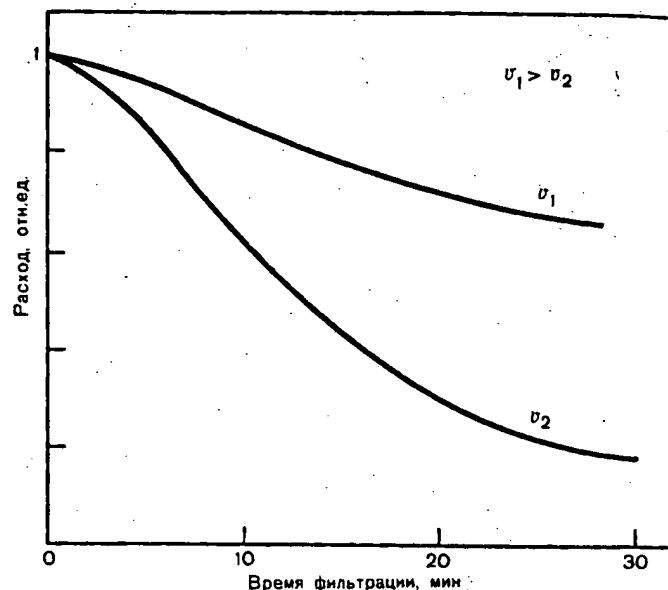


Рис. 7. Изменение производительности процесса фильтрации во времени при различных скоростях тангенциального потока

Важнейшая проблема в производстве медицинских препаратов — контроль их стерильности. Соответствующие приборы, называемые «Стеритест», приобретаются сейчас нами за рубежом, а потребность в них велика. Экспериментальная проверка, проведенная во Всесоюзном научно-исследовательском институте антибиотиков, показала, что подобные устройства можно изготовить на основе ядерных фильтров. Использование их в приборах «Стеритест» более целесообразно, чем применение традиционных мембран «миллипор», благодаря большей прочности, отсутствию коробления под действием склеивающих агентов и другим высоким технологическим качествам. Материалы для ядерных фильтров не обладают ни бактерицидными, ни бактериостатическими свойствами и выдерживают стерилизацию любым из известных способов.

Сейчас на Западе широко применяются так называемые индивидуальные насадки одноразового использования, с помощью которых производится очистка лекарственных средств непосредственно перед инъекцией. Этот метод оказался очень надежным, но и весьма дорогим. Мы изготовили опытные образцы насадок с мембранами из ядерных фильтров, которые успешно прошли испытания.

Представляется перспективным применить ядерные фильтры и для создания средств защиты органов дыхания от вредных воздействий. Эта задача особенно актуальна в настоящее время, когда быстро интенсифицируется производство и проблема защиты человека и окружающей среды выдвигается на передний план. Можно использовать ядерные фильтры при создании *эффективных респираторов* для работы в цементной и угольной промышленности, для сельского хозяйства.

Угольная пыль, например, почти полностью состоит из частиц размером более микрона (см. рис. 4). Расчеты и экспериментальные резуль-

таты показывают: 1–3 мкм и пл человека и в пыли. В Лаб компактных рабочего слоя зависят от во процессе эксплу: ляется главн.

Трековые метода ядерных ионов жельных ионов ности гораздо в ФРГ<sup>1</sup>.

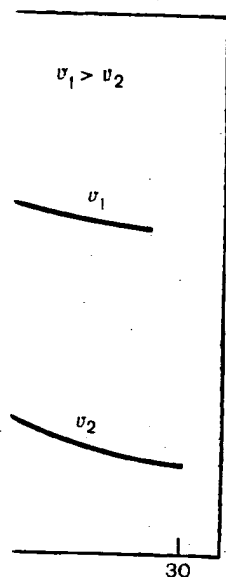
Западными ионами, показать воз

Известно, ляет многие прочность, о возможность и: вольной те. ности. Оказа ионами и п: риала разде тивление п: повышается «сверхизоляция состояние п

Другой метод ядер на поверхности длины раз. Такая тонкая пленка. Практически ионов ( $10^{11}$  в результат

Ионное подложкой может быть так и за счет ческой обработки армированы: шаются из нами и по паунды, с: зия межд: повышена. обработки (рис. 9).

<sup>1</sup> См.: /



ти процесса филь-  
скоростях таяген-

апаратов — кон-  
ваемые «Стери-  
ность в них ве-  
оюзном научно-  
что подобные  
Использование  
менение тради-  
сти, отсутствию  
м высоким тех-  
ов не обладают  
и выдерживают

ле индивидуаль-  
оторых произво-  
еред инъекцией.  
огим. Мы изго-  
рных фильтров,

фильтры и для  
одействий. Эта  
стро интенсифи-  
ужающей среды  
ерные фильтры  
в цементной и

из частиц разме-  
альные резуль-

таты показывают, что ядерный фильтр с диаметром пор 1 мкм, толщиной 1–3 мкм и площадью около 500 см<sup>2</sup> практически не затрудняет дыхания человека и в то же время обеспечивает очистку воздуха от угольной пыли. В Лаборатории ядерных реакций изготовлены опытные образцы компактных респираторов из ядерных фильтров с указанной толщиной рабочего слоя. Эксплуатационные характеристики таких респираторов зависят от возможности восстановления их пропускной способности в процессе эксплуатации или после нее. Эффективность регенерации определяется главным образом природой аэрозолей.

Трековые детекторы и ядерные фильтры — лишь частные приложения метода ядерных треков. Возможности, связанные с использованием тяжелых ионов для преобразования структуры твердых тел, в действительности гораздо шире. Это могут подтвердить исследования, проводимые в ФРГ<sup>1</sup>.

Западногерманские ученые не располагают столь интенсивными пучками ионов, которые есть в Дубне, однако и в этих условиях им удалось показать возможность решения ряда технологических задач.

Известно, например, что строение поверхности материалов определяет многие их свойства: смачиваемость, адгезию, трение, электрическую прочность, оптические характеристики. Метод ядерных треков дает возможность изменять заданным образом свойства поверхности. В высоковольтной технике существует проблема пробоя изоляторов по поверхности. Оказалось, что если диэлектрический материал облучить тяжелыми ионами и подвергнуть соответствующей обработке, то поверхность материала разделится на множество отдельных «островков». При этом сопротивление поверхности увеличится на несколько порядков. Значительно повышается напряжение пробоя. Несомненно, что применение таких «сверхизоляторов» особенно перспективно в условиях вакуума, где на состояние поверхности не будут влиять пыль, вода и т. д. (рис. 8).

Другой пример изменения свойств поверхности материалов с помощью метода ядерных треков — управление коэффициентом отражения. Если на поверхности сформировать множество неровностей с размером, меньшим длины световой волны, то отражение ею света уменьшится во много раз. Такая текстурированная поверхность может рассматриваться как тонкая пленка с изменяющимся в пространстве показателем преломления. Практически ее получают с помощью облучения большим потоком ионов ( $10^{11}$ – $10^{12}$  см<sup>-2</sup>) и непродолжительным химическим травлением, в результате коэффициент отражения снижается до 0,3–0,5%.

Ионное облучение существенно увеличивает силы сцепления между подложкой и нанесенной на нее тонкой пленкой другого материала, что может быть достигнуто как за счет скрытых (непроявленных) треков, так и за счет увеличения шероховатости поверхности в результате химической обработки облученного ионами материала. Полимерные смолы, армированные волокнистыми материалами, при старении часто разрушаются из-за попадания в них влаги и ухудшения адгезии между волокнами и полимерной матрицей. Весьма распространенный пример — компаунды, состоящие из термопластичного полимера и стекловолокна. Адгезия между компонентами такого компаунда может быть значительно повышена, если поверхность армирующего материала предварительно обработать — создать в ней множество взаимно пересекающихся треков (рис. 9).

<sup>1</sup> См.: Fisher B. E., Spohr R. Review of Modern Phys., 1983, v. 55, N 4, p. 207–248.

В будущем ядерные треки можно использовать для исследований флуоресценции и рамановского рассеяния молекулами, внедренными в микрополости или адсорбированными на антенноподобных микроструктурах с высокой электропроводностью.

Сейчас наблюдается тенденция к замене источников электронов термоэлектронного типа источниками с полевой эмиссией — холодными катодами. Их яркость может на несколько порядков превышать яркость источников с термоэлектронной эмиссией. Важнейший параметр холодного катода — радиус кривизны участков поверхности, испускающих электроны. Основная техническая трудность при изготовлении таких источников — создание микроигл с малым радиусом кривизны при вершине. В Дармштадте предложили получать необходимые структуры с помощью метода ядерных треков.

Металлическая реплика с поверхности, в которой вытравлены конусообразные треки, представляет собой множество игольчатых образований с радиусом кривизны при вершине менее 100 нм (рис. 10). Весьма существенно, что площадь такого источника электронов можно сделать очень большой (сотни квадратных сантиметров), и плотность испускающих электроны конусных микроигл будет достигать  $10^8$  см $^{-2}$ ; такие параметры обеспечивают плотность тока электронов до 10 А·см $^{-2}$ .

Аналогичным образом, подавая положительный потенциал на систему игольчатых образований, можно получить эффективный источник однозарядных положительных ионов. Такие источники используются в сканирующей ионной микроскопии. Интересная их разновидность — так называемый вулканический источник — микротрубка, через которую проходят молекулы газа, приобретающие под действием сильного электрического поля у краев трубки электрический заряд. Сейчас разработана методика получения «вулканических» источников с одним отверстием, имеющим диаметр около 10 мкм.

Метод ядерных треков в сочетании с техникой реплик позволяет изготовить источник со множеством микротрубок меньшего диаметра (рис. 11). Для этого металл наносится на поверхность слюды и на стенки каналов протравленных в ней треков, и слюда растворяется в подходящем химическом реагенте. Такая методика изготовления вулканических источников ионов представляется очень перспективной.

Ряд интересных задач решается при помощи мембран с одиночным отверстием. Одиночное отверстие в пластинке получают при ее облучении одним-единственным ускоренным ионом (вспомним, что в физических экспериментах на получение одного атома нового элемента расходуется  $\sim 10^{16}$  ускоренных частиц). Мембраны с одной порой (рис. 12) используются для счета, определения размера и подвижности частиц субмикронных размеров, в том числе биологических объектов: бактерий, вирусов, клеток. Применяя отверстие с размером чуть меньшим, чем размер клетки, можно оценить ее деформируемость. Недавно было показано, что деформируемость красных кровяных телец связана с различными заболеваниями сердечно-сосудистой системы, что можно использовать в целях их диагностики. Здоровые клетки деформируются легко, а ухудшение деформируемости клеток может привести к опасным для организма явлениям. Сейчас для медицинской диагностики изготавливаются большие партии таких мембран с одиночным отверстием.

Лазерная техника нуждается в высокоточных диафрагмах для создания световых источников высокой яркости; от качества диафрагмы зависит и качество электронно- и ионно-оптических систем. До настоящего времени используются игольчатые диафрагмы с диаметром около 1 мкм. Пулем контролируемого одностороннего травления одиночных ядерных



Рис. 8. Лабиринтная структура слюды, полученная треками. Ионная обработка снижает их поверхность на несколько порядков



Рис. 10. Электроны поверхности холодного методом ядерных треков

треков в тонких практически идеальных (рис. 13). Благодаря отверстиям с гладкими краями получают пучки

Мембрану с одним отверстием в качестве определяющего фактора, при перепарации молекул, которые работают. Интересные ионы в двуслойной (несколько пох

исследований  
внедренными  
их микрострук-

электронов тер-  
лодными като-  
яркость источ-  
холодного ка-  
дих электроны.  
источников —  
пине. В Дарм-  
мощью метода

конусообразные  
дусом кривизны  
ады такого источ-  
сантиметров), и  
гигать  $10^8 \text{ см}^{-2}$ ;  
-2.

нал на систему  
источник одно-  
ются в скапы-  
ть — так назы-  
ую проходят  
электрического  
тана методика  
имеющим диа-

озволяет изго-  
етра (рис. 11).  
тепки каналов  
дходящем хи-  
их источников

с одиночным  
ее облучении  
в физических  
а расходуетс  
12) исполь-  
д субмикрон-  
рий, вирусов,  
размер клет-  
азано, что де-  
ными заболе-  
овать в целях  
худшение де-  
анизма явле-  
отся большие

аз для созда-  
афрагм зави-  
о настоящего  
около 1 мкм.  
ных ядерных

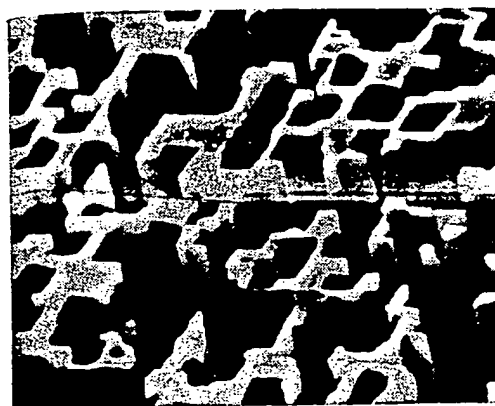


Рис. 8. Лабиринтная структура поверхности слюды, полученная методом ядерных треков. Ионная обработка изоляторов снижает их поверхностную проводимость на несколько порядков

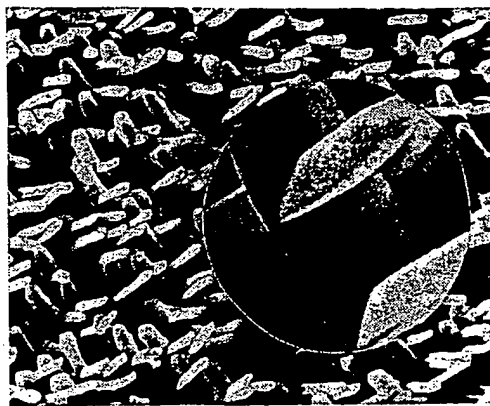


Рис. 9. Создание пересекающихся ядерных треков на поверхности компонентов микрокомпозиционных материалов — новый способ повышения их адгезионной прочности

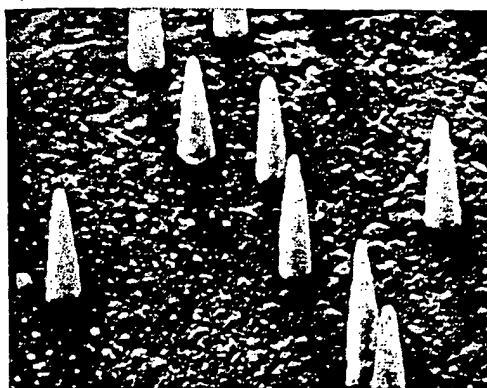


Рис. 10. Электронная микрофотография поверхности холодного катода, изготовленного методом ядерных треков



Рис. 11. Микротрубки, полученные нанесением металла на внутреннюю поверхность сквозных треков в слюде с последующим удалением слюдяной матрицы. Подобная структура представляет собой высокоэффективный источник ионов

треков в тонких стеклянных пластинах можно изготавливать диафрагмы практически идеальной формы в десятки раз меньшего диаметра (рис. 13). Благодаря высокой гомогенности стекла получаются круглые отверстия с гладкими краями, применение которых в оптике позволяет получать пучки с правильным профилем.

Мембрану с одиночным отверстием можно использовать в вакуумной технике в качестве калиброванной течи, скорость потока газа через которую определяется размером отверстия. Такая система работает, например, при перепаде давления в несколько атмосфер, что препятствует сепарации молекул с разным молекулярным весом — в отличие от систем, которые работают при переменном дифференциальном давлении.

Интересные результаты получены при травлении следов тяжелых ионов в двуслойных материалах. Сейчас изготовлены пористые структуры (несколько похожие на разработанные в Лаборатории ядерных реакций

асимметричные ядерные фильтры) из пленок граната, на которые эпиксидальным способом нанесен тонкий слой материала, имеющего скорость травления, отличную от скорости травления пленки-подложки (рис. 14). Поры в этом случае имеют форму бутылок с коротким и узким горлышком. Обладая повышенной пропускной способностью, такая структура, состоящая из множества несквозных пор бутылочной формы, может служить дозатором лекарственных средств.

Пучки тяжелых ионов можно использовать для литографии. Современные методики фотолитографии, а также литографии с помощью рентгеновских лучей и электронных пучков дают возможность получать структуры с размерами деталей около 0,1 мкм и отношением глубины рельефа к его ширине порядка 10. Литография с помощью тяжелых ионов — следующий шаг в развитии метода, позволяющий изготавливать более тонкие и глубокие микроструктуры, что весьма важно при разработке компактных интегральных полупроводниковых приборов (рис. 15).

Пучки тяжелых ионов с энергией порядка сотен мегаэлектронвольт на нуклон используются в медицине для диагностики и воздействия на раковые образования. Может быть, следует разработать ионный «микропоз» — узкий микропучок ускоренных тяжелых частиц, с тем чтобы направлять его в нужную точку. Это расширит также возможности методов литографии, имплантации, позволит проводить особо тонкую обработку микрообъектов.

Представляется необходимым усилить работы по осуществлению всех указанных идей, привлечь к этим проблемам широкий круг специалистов из соответствующих областей техники.

Становится очевидным, что для решения перечисленных прикладных задач необходимо создание специализированных ускорителей тяжелых ионов, которые обеспечат пучки необходимых параметров и в то же время, благодаря малым размерам, будут удобными в эксплуатации. Проведенный нами анализ показал, что для массового производства ядерных фильтров нужно создать компактный ускоритель — циклический имплантатор, занимающий площадь не более 150 м<sup>2</sup>, абсолютно безопасный в отношении радиации.

Это будет изохронный циклотрон с диаметром полюсов 1 м, весом 50 т (ускоритель У-300 весит около 2200 т), с потребляемой мощностью 150 кВт и интенсивностью ионов аргона в пучках  $(1-2) \cdot 10^{12}$  част./с. Энергия ионов 1 МэВ/нуклон оптимальна для облучения полимерных пленок 10-микронной толщины. Такие циклотроны могут быть построены на основе имеющихся в СССР типовых магнитов. При эксплуатации этих установок не нужно будет изменять режим работы, переходить от одного вида ускоряемых ионов к другому, и благодаря этому будут обеспечены высокая стабильность параметров пучка и простота обслуживания ускорителя. Представляется также целесообразным использовать для ускорения тяжелых ионов существующие в Москве, Ленинграде и Киеве циклотроны старых конструкций.

В перспективе пучки тяжелых ионов могут оказаться эффективными для решения еще двух важнейших задач. Первая — *проведение радиационных испытаний материалов*. Если на выходе циклотрона поставить накопитель ускоренных ионов, то удастся получить мощность в пучке порядка 10 МВт, и это позволит моделировать процессы в термоядерных установках. Вторая — состоит в *создании лазеров с ультракороткой волной излучения*. Для накачки активного тела такого лазера необходима высокая импульсная мощность, которая может быть достигнута в пучке ускоренных тяжелых ионов.

Следует отметить важность проблемы обеспечения ряда районов страны пресной водой. Чрезвычайно важно предпринять все возможное для создания новых эффек-

интерес сверстать же

Рис. 12. Одиночная дикарбонатной мембрана

Рис. 14. Поры «бутылочной» формы, полученные методом двухслойной пленки

тивных вид в обр: ядерных фильтров они работают по: бывать, что иссле: дпации на струк: тальный поиск в: используя не тол: ные комбинации

Бесспорно, а в ряде обл: эффективности: желых ионов: но дальнейшее: условия широ: и прецизионн: ной сети науч:



и, на которые эпилла, имеющего скопленки-подложки коротким и узкимостью, такая структурной формы, может

итографии. Современ с помощью рентг получить структур глубины рельефа тяжелых ионов — сле-лять более тонкие зработке компакт-15).

мегаэлектронвольт и воздействия на ионный «микрон», с тем чтобы возможности методоб тонкую обра-

ушествлению всех круг специалистов

иных прикладных рителей тяжелых в и в то же время, тации. Проведен-водства ядерных лический имплан-ютно безопасный

весом 50 т (ускори-т и интенсивностью /нуклон оптимальна е циклотроны могут . При эксплуатации дить от одного вида ны высокая стабиль-Представляется так-ионов существующие

я эффективными оведение радиа-трона поставить щность в пучке в термоядерных короткой волной бходима высокая пучке ускорен-

ов страны пресной ния и вых эффек-

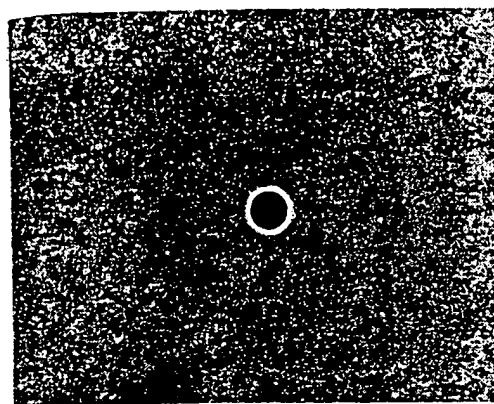


Рис. 12. Одиночная «ядерная» пора в поликарбонатной мембране

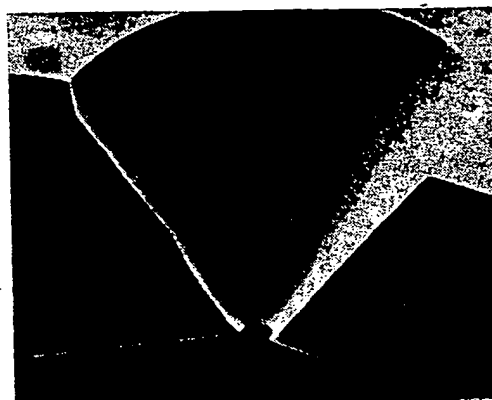


Рис. 13. Конусообразное отверстие в стек-линой пластине — высококачественная диафрагма

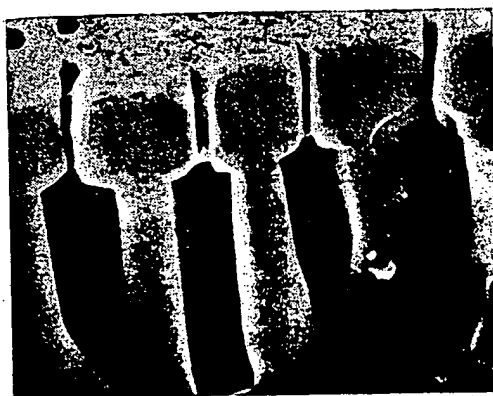


Рис. 14. Поры «бутылочной» формы, по-лученные методом ядерных треков в двухслойной пленке граната



Рис. 15. Изображение металлической ре-шетки на пленке двуокиси кремния, по-лученное методом ионной литографии. Разрешение лучше 0,1 мкм

тивных видов обратноосмотических мембран и опреснительных установок. С помощью ядерных фильтров проблема обессоливания воды еще не может быть решена, так как они работают пока лишь в режимах ультра- и микрофильтрации. Однако нельзя забывать, что исследованы далеко не все возможности направленного воздействия радиации на структуру материалов. В ближайшее время необходимо вести эксперимен-тальный поиск в направлении достижения новых свойств полимерных материалов, используя не только ускоренные тяжелые ионы, но и  $\beta$ -частицы,  $\gamma$ -радиацию, различ-ные комбинации физических и химических методов.

Бесспорно, что применение тяжелых ионов внесет существенный, а в ряде областей тонкой технологии решающий вклад в повышение эффективности производственных процессов. Использование пучков тя-желых ионов уже позволило полностью решить ряд технических задач, но дальнейшее развитие методов ионной технологии возможно лишь при условии широкого применения ускорителей тяжелых ионов как мощного и прецизионного инструмента и привлечения к этой работе разветвлен-ной сети научных организаций и учреждений.



В ходе обсуждения научного сообщения директор Всесоюзного научно-исследовательского института антибиотиков С. М. Навашина рассказал о применении ядерных фильтров в медицине. Они успешно заменили импортные мембраны «миллипор» в приборах для контроля стерильности медицинских препаратов. Использование их в качестве индивидуальных фильтров при инъекциях позволяет полностью избавиться от механических примесей в инъекционных препаратах, что дает возможность расширить диапазон лекарств, употребляемых для внутривенных вливаний.

Академик Н. В. Петрянов-Соколов подчеркнул, что ядерные фильтры обладают двумя уникальными качествами. Они имеют строго калиброванные отверстия, причем размеры этих отверстий можно варьировать в широких пределах. Такие фильтры имеют большое значение для микробиологии и медицины, где необходима очень тонкая сепарация частиц по размерам (например, когда нужно отделить патогенные микроорганизмы от вакцины). Второе важнейшее качество ядерных фильтров — их гладкая зеркальная поверхность, позволяющая легко сбрасывать скопившийся на ней осадок, поэтому можно использовать такие фильтры для защиты, например, от угольной пыли. Необходимо разрабатывать самые различные технологии с помощью ядерных фильтров и организовать массовый выпуск изделий на их основе.

Член-корреспондент АН СССР Г. А. Смоленский сообщил, что ядерные фильтры находят применение в производстве радиокерамики; они позволяют также увеличивать поверхностное сопротивление электрических устройств. Наконец, с использованием ядерных фильтров связаны вопросы стабилизации жестких магнитов и создания элементов памяти для новых вычислительных машин.

Отметив, что ядерные фильтры могут найти широкое применение в процессах роста кристаллов, академик Б. К. Вайнштейн указал на существующее сейчас несоответствие между значимостью проблемы использования этих фильтров и масштабом ее решения. Необходимо улучшить организацию и координацию этих работ.

Многие знают фильтры Флорова, сказал академик А. М. Прохоров, но требуется более широкая информация о возможностях их применения. Может быть, следует издать большим тиражом буклет, посвященный этому вопросу.

Высоко оценил новые фильтрующие материалы президент Академии наук СССР академик А. П. Александров. Сейчас, сказал он, появилась возможность падавать производство ядерных фильтров на многих ускорителях Советского Союза, без ущерба для проводимых там научных работ. Применение фильтров чрезвычайно важно для борьбы с профессиональными заболеваниями, вызванными попаданием в легкие вредных веществ, например, при работе с углем, кремнистыми породами. Эти фильтры могут оказаться полезными для предупреждения стафилококковой инфекции. Как уже отмечалось, они незаменимы в микробиологической технологии. Использование ядерных фильтров в системах обессоливания воды может оказаться чрезвычайно эффективным. А. П. Александров высказал мнение о необходимости создать в Академии наук СССР небольшое производство ядерных фильтров различных модификаций для науки и техники. Он поздравил докладчика и весь его коллектив с крупным успехом и предложил назвать созданные ядерные фильтры «фильтрами Флорова».

УДК 621.039

Доктор физико-математических наук  
Р. И. ПЕРСОН

Академии наук СССР в спектроскопии, соей рубежом<sup>1</sup>. Это паи молекул в матрице selection spectroscopy

Существуют тг органических мол и флуоресценции с линейчатыми сп спектральных пол метров). Такие ер мативны. Иногда ствующую криста вестных и-парафв ратурах спектр и Однако, принима соединений и ши) в большинстве сл ются широкополо:

Развитие селе заранее неочевид широкие спектра однородно и обла.

Было показано соответствует спент (оптический аналог

<sup>1</sup> См.: Персона: структуры в спент ния.— Письма в Ж Бюковская Л. А., 3 нических молекул полос твердых раст